

ВІДГУК  
офіційного опонента

на дисертаційну роботу Бершова В'ячеслава Султанбековича  
«Методи формування ансамблів складних сигналів для підвищення  
завадостійкості безпроводових когнітивних телекомунікаційних мереж»,  
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії,  
галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»,  
спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

**Актуальність напрямку дисертаційного дослідження.**

Зростання навантаження на телекомунікаційні мережі та посилення вимог до швидкості і якості передачі інформації призводять до ускладнення завадової ситуації в безпроводових системах зв'язку. Водночас виникає необхідність удосконалення методів аналізу та обробки сигналів, які забезпечують стійкість передачі даних навіть за умов динамічних змін у радіосередовищі. Додатковим викликом стає зростання загроз, у тому числі, фізичні перешкоди та кібератаки, що робить питання стабільності та безпеки передачі інформації першочерговим завданням.

Підвищення завадостійкості безпроводових когнітивних телекомунікаційних мереж є актуальною проблемою як на рівні теоретичних досліджень, так і в практичній діяльності сучасних телекомунікаційних систем. Одним із найскладніших завдань у цьому напрямі є формування та обробка ансамблів складних сигналів, що дозволяють ефективніше використовувати частотний спектр, мінімізуючи конфлікти між користувачами та підвищуючи гнучкість адаптації мереж до змін у середовищі передачі. Інтелектуальні алгоритми аналізу, модуляції та декодування, інтегровані у процес формування сигналів, сприяють підвищенню продуктивності телекомунікаційних систем і відкривають нові можливості для їх ефективної роботи в умовах завад.

Таким чином, дослідження методів формування ансамблів складних сигналів для підвищення завадостійкості безпроводових когнітивних телекомунікаційних мереж є актуальною темою і важливим внеском у розвиток телекомунікаційних технологій. Запропоновані підходи сприяють створенню адаптивних алгоритмів обробки сигналів, що забезпечують стабільну та якісну передачу інформації навіть у складних і динамічно змінюваних радіоумовах.

## **Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків та рекомендацій.**

Дисертаційна робота містить усі необхідні елементи наукового дослідження: чітко сформульовані тема, мета та предметна область, що відповідають актуальному стану розвитку телекомунікаційних технологій. Основні етапи дослідження узгоджуються з сформульованими частковими задачами, включають теоретичні розробки та експериментальний аналіз, ґрунтуються на методах класичної теорії обробки сигналів, часово-частотного аналізу, оптимізації параметрів алгоритмів, а також принципах теорії інформації для оцінки завадостійкості та ефективності передачі даних.

Дисертаційне дослідження базується на відомих теоріях і методах, а також вдосконалює їх шляхом розробки гібридних підходів та інтеграції статистичних і адаптивних алгоритмів. Достовірність отриманих наукових результатів підтверджується коректним застосуванням математичного апарату, програмною реалізацією розроблених методів і їх верифікацією в межах моделювання. Результати узгоджуються з існуючими теоретичними підходами та підтверджуються експериментальними даними.

Рівень обґрунтованості наукових положень і рекомендацій підтверджується апробацією результатів дисертаційного дослідження у наукових публікаціях, доповідях на міжнародних конференціях, а також практичним впровадженням розроблених методів, що підтверджено відповідними актами. Отримані результати мають як теоретичну, так і прикладну цінність, а сама дисертаційна робота є завершеним, методологічно обґрунтованим і новаторським внеском у розвиток когнітивних телекомунікаційних систем.

### **Наукова новизна отриманих результатів.**

1. Удосконалено метод багаторівневого рекурентного часового сегментування інтервалів на основі часово-частотних перетворень та адаптивної фільтрації для підвищення ефективності аналізу та обробки сигналів, з метою створення ансамблів сигналів на різних рівнях часової і частотної деталізації, для забезпечення високої точності і адаптивності в умовах динамічного когнітивного радіосередовища.

2. Удосконалено метод аналізу та обробки ансамблів складних сигналів на основі застосування специфічних перетворень та оптимізованих фільтрів на різних етапах методу багатоступеневого рекурентного часово-частотного сегментування з врахуванням умов зміни параметрів сигналу, наявності та інтенсивності завад, а також динамічних характеристик когнітивного середовища.

3. Вперше запропоновано метод формування ансамблів складних сигналів на основі багатомасштабної часової сегментної декомпозиції, який дозволяє створювати ансамблі сигналів на різних рівнях часової деталізації (макро, мезо і мікро-рівень), забезпечуючи кращу адаптивність, ефективність та завадостійкість порівняно з традиційними підходами, які використовують однорідні декомпозиції.

#### **Практичне значення отриманих результатів.**

У дисертаційній роботі розроблено алгоритми та програмні реалізації методів аналізу, обробки та формування ансамблів складних сигналів, які експериментально підтверджені в умовах когнітивних радіомереж із різним рівнем завад. Зокрема показані наступні результати:

– експериментальне тестування багаторівневого рекурентного часово-частотного сегментування підтвердило його ефективність для практичних задач когнітивних радіомереж;

– реалізація адаптивного алгоритму дозволяє підвищити ефективність обробки сигналів до 29% залежно від рівня інтерференції та характеристик середовища;

– алгоритм аналізу та обробки ансамблів складних сигналів з використанням специфічних перетворень та адаптивних фільтрів забезпечує зниження рівня шуму до 29% та підвищення показників якості сигналу до 24%;

– метод багаторівневого часово-частотного сегментування, з використанням на різних етапах фільтрів LMS, RLS, а також швидкого перетворення Фур'є, вейвлет та Гілбертового перетворення, дозволяє підвищити завадостійкість системи до 18%;

– реалізація методу багатомасштабної часової декомпозиції дозволяє зменшити середньоквадратичну помилку, збільшити співвідношення сигнал/шум та знизити енергетичні витрати;

– результати експериментів підтверджують переваги запропонованих методів у порівнянні з традиційними підходами за критеріями точності, швидкості дії та ефективності використання ресурсів.

#### **Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих працях.**

Основні результати дисертації викладені у 10 наукових працях: 5 статей у фахових виданнях України, 1 стаття у виданні Web of Science, 5 апробаційних публікацій за матеріалами міжнародних науково-практичних конференцій. У вступі роботи міститься інформація про особистий вклад

автора у публікаціях, зміст яких відповідає темі та меті роботи і висвітлює результати виконання часткових задач.

### **Мова і стиль дисертації.**

Дисертація оформлена відповідно до вимог, встановлених для науково-дослідних робіт. Мова та стиль викладення вирізняються чіткістю, науковою точністю і логічною структурованістю. Автор демонструє високий фаховий рівень, застосовуючи професійну термінологію відповідно до сучасних стандартів. Текст зрозумілий і сприяє кращому засвоєнню матеріалу. Оформлення таблиць, рисунків і формул виконано належним чином, що полегшує сприйняття інформації. Список джерел структурований і повністю відповідає вимогам до академічного цитування, а джерела є сучасними та актуальними. Загалом, мова, стиль та оформлення дисертації підкреслюють професіоналізм автора, забезпечують прозорість, наукову доброчесність та високу якість роботи.

### **Обсяг і структура дисертації.**

Відповідають вимогам до наукових досліджень рівня PhD та ОНП «Телекомунікації та радіотехніка» спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка». Загальний обсяг дисертаційної роботи складає 191 сторінку, з них: анотації українською та англійською мовами, 168 сторінок основного тексту, 36 рисунків, 35 таблиць, 128 найменувань у списку використаних джерел на 12 сторінках, 6 Додатків (А-Е).

Структура дисертації є логічно обґрунтованою та відповідає науковим завданням дослідження. Кожен розділ узгоджується з поставленою метою, послідовно розкриває відповідні аспекти роботи та не містить надлишкової інформації.

У **вступі** обґрунтовано актуальність дослідження, спрямованого на підвищення завадостійкості когнітивних радіомереж шляхом формування ансамблів складних сигналів з використанням удосконалених методів аналізу, обробки та сегментування. Визначено наукову новизну, практичну значущість, окреслено авторський внесок та наведено основні наукові публікації.

У **розділі 2** розроблено метод багаторівневого рекурентного часово-частотного сегментування сигналів, який ґрунтується на використанні адаптивних фільтрів та оптимізованих перетворень. Досліджено вплив параметрів сегментації на точність аналізу та збереження характеристик сигналу, а також розглянуто можливості адаптації методу до змін у когнітивному радіосередовищі.

У розділі 3 запропоновано метод аналізу та обробки ансамблів складних сигналів, що використовує специфічні перетворення та оптимізовані фільтри. Визначено ефективність цих підходів у зменшенні рівня інтерференції, а також проаналізовано їх адаптивність до динамічних змін параметрів сигналу. Проведено експериментальне дослідження, що підтверджує підвищення якості аналізу та обробки сигналів.

У розділі 4 представлено метод формування ансамблів складних сигналів на основі багатомасштабної часової сегментної декомпозиції. Обґрунтовано вибір рівнів часової деталізації, розглянуто їх вплив на завадостійкість та точність відновлення сигналів. Проведено порівняльний аналіз розрахованих показників, а також наведено результати експериментальної верифікації ефективності методу.

У висновках узагальнено результати дослідження, підтверджено досягнення поставленої мети та виконання сформульованих завдань. Наведено основні показники ефективності розроблених методів та алгоритмів, окреслено перспективи їх подальшого розвитку.

Загалом, дисертаційна робота містить теоретично обґрунтовані та практично апробовані рішення, що сприяють підвищенню завадостійкості когнітивних телекомунікаційних мереж. Запропоновані в дисертації методи можуть знайти застосування в стратегічно важливих галузях, де критичною є якість та надійність передачі даних.

### **Повнота викладення наукових результатів та академічна доброчесність.**

Основні результати та наукові положення дослідження були опубліковані у 10 наукових працях, серед яких 3 статті у фахових виданнях, 1 у виданні Web of Science, 1 стаття у міжнародному виданні та 5 тез доповідей, опублікованих за матеріалами конференцій різного рівня.

Особистий внесок здобувача полягає в розробці нових методів, алгоритмів та програмних реалізацій, що детально відображено в публікаціях та зазначено у вступі дисертаційної роботи. Практична значущість отриманих результатів підтверджена актами впровадження в навчальний процес Луцького національного технічного університету, а також у діяльність військової частини А7223.

Дисертаційна робота, її положення та висновки викладені логічно, аргументовано та доступно, з належними посиланнями на використані наукові джерела.

Перевірка дисертації та супутніх наукових публікацій не виявила ознак академічної недоброчесності, таких як плагіат, самоплагіат, фабрикація чи фальсифікація даних.

### **Зауваження та недоліки щодо змісту дисертації.**

Позитивно оцінюючи рівень опрацювання наукових та методичних положень в дисертації, а також обґрунтованість висновків та практичну цінність отриманих результатів, при детальному аналізі роботи виникли певні питання та зауваження, зокрема:

1. На четвертому етапі методу формування ансамблів складних сигналів на основі багаторівневого рекурентного часово-частотного сегментного моделювання (стор. 58) використано рекурсивні методи обробки, проте не зазначено, як забезпечується їх стійкість до накопичення помилок та чи передбачено механізми стабілізації алгоритму для запобігання цьому явищу.

2. Використання кількох фільтрів, зокрема Калмана, Баттерворта та еліптичних (розділ 3.2), може значно збільшувати обчислювальні витрати. Необхідно уточнити, чи проводився аналіз доцільності їх поєднання з точки зору оптимізації ефективності та ресурсозатратності алгоритму.

3. Метод аналізу та обробки ансамблів складних сигналів на основі специфічних перетворень та оптимізованих фільтрів (розділ 3) орієнтований на когнітивні мережі, проте в реальних умовах телекомунікацій важливу роль відіграють технології мультиплексування, такі як OFDM, CDMA, TDMA, що ускладнює оцінку стійкості та ефективності запропонованого методу в умовах реальних мультисигнальних систем.

4. В дисертації розглядається ефективність багаторівневого рекурентного сегментування, однак відсутній аналіз чутливості методу до зміни характеристик середовища передачі сигналів, що не дозволяє оцінити точність обробки сигналів при варіаціях завад та нестабільності когнітивного радіосередовища.

Наведені зауваження та недоліки є дискусійними і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Бершова В.С.

### **Загальний висновок та оцінка дисертаційної роботи.**

Дисертаційна робота Бершова В.С. на тему «Методи формування ансамблів складних сигналів для підвищення завадостійкості безпроводових когнітивних телекомунікаційних мереж» є самостійною науковою працею, що містить вагомий внесок автора у розвиток науки, відзначається комплексним підходом та оригінальністю у вирішенні науково-практичних завдань.

Результати, представлені здобувачем отримані з використанням методів оптимізації та удосконалених методів багаторівневого рекурентного часово-частотного сегментування та розроблених адаптивних алгоритмів аналізу і обробки ансамблів складних сигналів, можуть бути використані як ефективні і нові інструменти для підвищення якості зв'язку в когнітивних та інтелектуальних мережах. Отже, можна зробити висновок, що дисертаційна робота в цілому містить нове рішення задачі підвищення завадостійкості безпроводових когнітивних телекомунікаційних систем шляхом формування та обробки ансамблів складних сигналів.

За своїм змістом та науковим рівнем дисертаційна робота задовольняє вимогам Постанови № 44 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» затвердженої Кабінетом Міністрів України від 12 січня 2022 р (зі змінами, внесеними згідно з Постановою КМУ № 502 від 19.05.2023р.), а її автор – Бершов В. С. заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 – «Телекомунікації та радіотехніка».

Офіційний опонент,  
завідувач кафедри технічного захисту інформації  
Державного університету  
«Київський авіаційний інститут»  
доктор технічних наук, професор



Валерій КОЗЛОВСЬКИЙ

«13» 03 2025 р.

Підпис Козловського В. В. засвідчую: *вексель секретар*  
*Державного некомерційного*  
*університету "Київський*  
*авіаційний інститут"*  
*Людмила Павлова*

